

BIPOLAR MEMBRANE ELECTRODIALYSIS : TEKNOLOGI ATRAKTIF UNTUK PRODUKSI ASAM DAN BASA

Putu Doddy Sutrisna

**Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas
Surabaya**

Abstract

Nowadays, membrane technology has been used extensively in chemical industries, especially in downstream processing. Because it can be running continously and need little energy consumption. Electrodialysis is a membrane processess which is using electrical energy to drive ions in feed solution to produce diluate (product with little ionic concentration) and concentrate (product with much ionic concentration). This paper presented bipolar membrane electrodialysis, which has been proven as an attractive technology to produce acid and base from their salt. Bipolar membrane has ability to disociate water so it can produce H^+ ions and OH^- ions, which is it's special characteristic compare with monopolar membranes. The application of bipolar membrane is described, too.

Keywords : *membrane, bipolar, and water splitting*

PENDAHULUAN

Industri kimia melibatkan rangkaian proses untuk menghasilkan suatu produk. Salah satu proses yang memegang peranan penting adalah proses pemisahan dan pemurnian produk karena tingkat kemurnian suatu produk sangat menentukan keekonomisan dari suatu produk dalam industri kimia. Sejalan dengan hal itu, berbagai teknologi pemisahan dan pemurnian produk telah diaplikasikan dan memiliki keunggulan masing – masing. Perkembangan kebutuhan akan industri yang menghasilkan bahan

buangan berbahaya seminimal mungkin telah memacu berbagai pemikiran dari para peneliti dan praktisi di dunia industri kimia untuk menghasilkan suatu teknologi yang ramah lingkungan. Salah satu teknologi baru dan sangat menjanjikan adalah teknologi pemisahan dan pemurnian dengan menggunakan membran.

Proses pemisahan dan pemurnian berbasis membran akhir - akhir ini mengalami kemajuan yang sangat berarti di berbagai industri kimia. Karena proses berbasis membran memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan proses yang telah banyak digunakan selama ini. Beberapa keunggulan tersebut diantaranya adalah pada proses berbasis membran tidak terjadi perubahan fase yang melibatkan banyak energi serta dapat beroperasi secara kontinyu. Di samping beberapa keunggulan tersebut, terdapat beberapa kelemahan yang dimiliki oleh proses berbasis membran, diantaranya adalah terjadinya polarisasi konsentrasi dan *fouling* yang dapat menyebabkan umur membran menjadi pendek.

Proses pemisahan dan pemurnian berbasis membran didasarkan atas terjadinya perpindahan massa antar komponen oleh adanya *driving force* yang diberikan dari luar. *Driving force* perpindahan massa yang digunakan sangat tergantung pada jenis operasi membran yang digunakan. Salah satu *driving force* yang digunakan adalah perbedaan potensial listrik di antara katoda dan anoda pada proses pemisahan dan pemurnian dengan menggunakan sel elektrodialisis. Elektrodialisis dapat digunakan untuk memisahkan larutan yang mengandung ion. Dimana pada sel elektrodialisis diletakkan membran penukar ion dengan susunan tertentu disesuaikan dengan tujuan pemisahannya.

Elektrodialisis

Elektrodialisis diperkenalkan secara komersial pertama kali pada awal dekade 60-an, kurang lebih 10 tahun sebelum Reverse Osmosis diproduksi secara komersial. Elektrodialisis mengalami perkembangan yang pesat karena secara ekonomis menguntungkan dalam proses desalinasi air payau dan air laut untuk berbagai keperluan (misal : untuk

air minum, air untuk keperluan industri elektroplating, dan sebagainya).

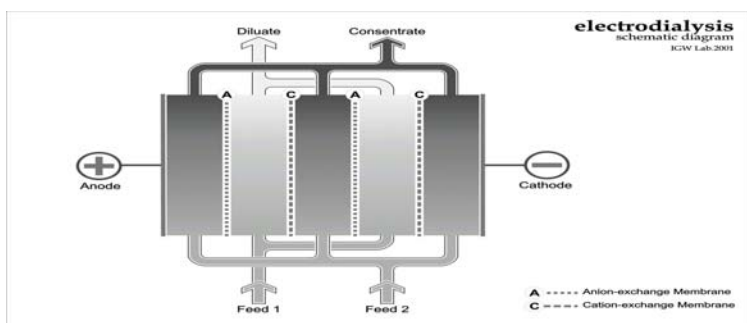
Proses pemisahan ion dalam suatu larutan dengan menggunakan alat elektrodialisis pada prinsipnya adalah dengan memanfaatkan perbedaan kemampuan ion untuk melewati rangkaian membran penukar ion dengan driving force perpindahan ionnya adalah perbedaan potensial listrik.

Proses elektrodialisis sangat bergantung pada hal – hal prinsip sebagai berikut :

1. Garam yang terlarut dalam air adalah terdiri dari ion – ion (positif maupun negatif)
2. Ion – ion dalam larutan bergerak ke arah elektroda yang memiliki muatan listrik yang berlawanan dengan muatan ion tersebut.
3. Membran yang digunakan dibuat agar bersifat selektif terhadap anion atau kation.

Membran yang digunakan dalam proses elektrodialisis adalah membran penukar ion atau *ion exchange membranes*. Membran penukar ion ada dua, yaitu *membran penukar kation* dan *membran penukar anion*. Membran penukar ion umumnya dibuat dari proses crosslinking polymer dengan menambahkan gugus fungsi untuk masing – masing membran. Membran penukar kation diberikan gugus fungsi negatif sedangkan membran penukar anion diberikan gugus fungsi positif. Jika membran penukar ion diletakkan dalam suatu larutan elektrolit, afinitas membran penukar ion tersebut akan berbeda untuk setiap jenis ion bermuatan berbeda. Kation atau ion bermuatan positif akan bergerak menembus membran penukar kation karena adanya gugus fungsi negatif di dalam membran. Sedangkan anion dalam larutan elektrolit akan tertolak oleh membran penukar kation karena memiliki muatan yang sama dengan gugus fungsi negatif yang dimiliki oleh membran penukar kation.

Gambar berikut memperlihatkan rangkaian sel dalam alat elektrodialisis :



Gambar 1 Rangkaian sel dalam alat elektrodialisis

Terlihat bahwa komponen dasar penyusun sel elektrodialisis adalah 2 (dua) buah elektroda dan 4 (empat) buah membran penukar ion. Membran penukar kation diletakkan berdekatan dengan elektroda negatif (katoda) sedangkan membran penukar anion diletakkan berdekatan dengan elektroda positif (anoda). Sedangkan membran penukar ion yang lain diletakkan berselang seling. Sehingga sel tersebut terbagi menjadi 3 bagian (kompartemen) ditambah dengan dua kompartemen pencuci elektroda. Elektroda yang digunakan sebaiknya terbuat dari bahan yang bersifat konduktif namun bersifat inert sehingga tidak ikut berpartisipasi selama proses dijalankan.

Pada gambar 1 larutan umpan masuk lewat ketiga kompartemen yang ada. Jika pada sistem tersebut diberikan arus listrik searah, ion – ion positif yang ada dalam larutan umpan akan mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke arah elektroda negatif (katoda) sedangkan ion – ion negatif cenderung bergerak ke arah elektroda positif (anoda). Namun pergerakan ion ini terhalang oleh adanya membran penukar ion yang telah dipasang dalam sel. Pada gambar 1 terlihat bahwa ion Na^+ pada

kompartemen pertama akan bergerak ke arah katoda dan menembus membran penukar kation, sehingga kompartemen I akan miskin dengan ion Na^+ . Sedangkan ion Na^+ yang telah ada di kompartemen II akan tetap terakumulasi di kompartemen II karena kation cenderung bergerak ke arah katoda, tetapi pergerakannya terhalang oleh membran penukar anion.

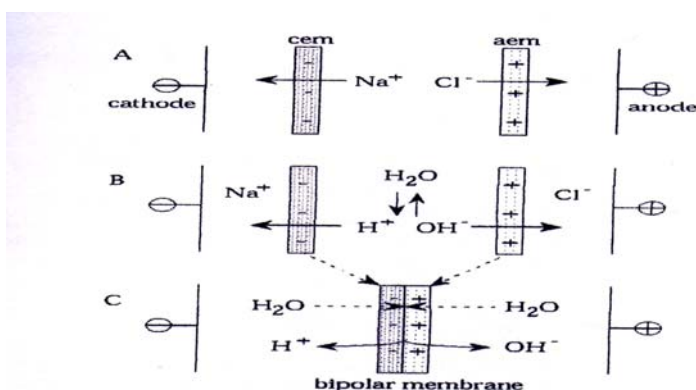
Ion Na^+ yang ada di kompartemen III cenderung bergerak ke arah katoda, dan bergerak menembus membran penukar kation menuju ke kompartemen kedua. Selanjutnya pergerakan ion Na^+ ini terhalang oleh adanya membran penukar anion, sehingga kompartemen III akan miskin dengan ion Na^+ . Sedangkan kompartemen II akan kaya dengan ion H^+ .

Ion Cl^- yang ada di kompartemen II akan memiliki kecenderungan untuk bergerak ke arah anoda. Namun karena di sana terpasang membran penukar kation, maka ion Cl^- akan tetap terjebak dalam larutan di kompartemen II. Ion Cl^- yang ada di kompartemen I, akan cenderung bergerak ke arah anoda (ditunjukkan oleh arah anak panah) dan akan bergerak menembus membran penukar anion yang ada di sebelahnya. Sehingga terjadi penumpukkan ion Cl^- di kompartemen II. Sehingga pada akhir proses elektrodialisis ini diharapkan pada ketiga kompartemen tersebut akan terjadi pemisahan ion – ion Na^+ dan Cl^- . Kompartemen II akan teraliri oleh larutan yang kaya dengan ion atau dalam proses elektrodialisis dinamakan sebagai aliran ***konsentrat***, sedangkan kompartemen I dan III akan miskin dengan ion atau dinamakan sebagai aliran ***diluat***. Aliran mana yang akan diambil sebagai produk ? Kesemuanya itu tergantung dari tujuan proses. Jika tujuan prosesnya adalah untuk mendapatkan larutan bebas ion, maka produk utamanya adalah ***diluat***, begitu pula sebaliknya.

Proses penolakan ion oleh membran yang memiliki muatan yang sama dengan ion tersebut dikenal sebagai fenomena '***Donnan Exclusion***'. Hal ini disebabkan oleh kesetimbangan termodinamik (kesetimbangan Donnan) antara ion yang berada di larutan elektrolit dengan ion pada membran (Rautenbach, 1989).

Membran Bipolar

Di samping membran monopolar (membran penukar kation dan membran penukar anion), pada satu dekade terakhir telah dikembangkan suatu membran penukar ion yang memiliki karakteristik yang khas, disebut dengan membran bipolar. Membran bipolar adalah suatu membran yang memiliki lapisan permeabel terhadap kation di satu sisi, dan lapisan permeabel anion di sisi yang lain. Prinsip kerja dari membran bipolar dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3. Prinsip kerja membran bipolar

Pada gambar 3.A. terlihat suatu membran penukar kation dan membran penukar anion yang diletakkan di antara anoda dan katoda. Ketika arus listrik dilewatkan ke dalam sistem, ion – ion akan bergerak melewati membran penukar ion menuju elektroda yang memiliki muatan berlawanan dengan ion tersebut (hal yang sama seperti pada kompartemen diluat dari suatu sel elektrodialisis). Pada saat semua ion telah dipindahkan dari ruang antar membran tersebut, arus listrik hanya dapat dibangkitkan oleh proton (H^+) dan ion hidroksil (OH^-) yang terdapat dalam air deionisasi yang lewat di antara membran penukar ion. Fenomena terpecahnya

molekul air (H_2O) ini disebut sebagai peristiwa **disosiasi air** atau **water splitting**. Konduktivitas air deionisasi sangat rendah dan untuk mengurangi hambatan listrik yang tinggi dalam ruang antar membran ini maka membran penukar kation dan membran penukar anion diletakkan berdekatan satu sama lain, sehingga membentuk membran bipolar seperti ditunjukkan pada gambar 3.C.

Ion H^+ dan ion OH^- yang dihasilkan oleh adanya fenomena **disosiasi air** dalam membran bipolar ini akan terdorong keluar akibat adanya arus listrik yang dibangkitkan oleh external power supply melewati kedua elektroda, anoda dan katoda.

Membran bipolar harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut (Kroll, 1997):

1. memiliki kemampuan yang tinggi untuk mendisosiasi air,
2. memiliki ikatan yang kuat di antara kedua lapisan yang permeabel kation dan anion,
3. memiliki lapisan yang tipis antara kedua lapisan untuk mengurangi penurunan voltase akibat terjadinya polarisasi konsentrasi,
4. Memiliki hambatan listrik yang rendah pada densitas arus yang tinggi,
5. Memiliki permselektivitas yang tinggi, memiliki kekuatan mekanik dan kestabilan kimia yang baik.

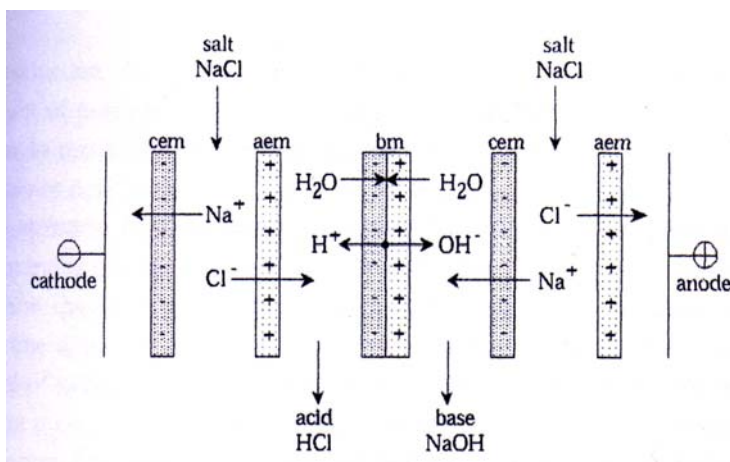
Hambatan listrik yang rendah pada lapisan anion dan kation dari membran bipolar dapat diperoleh dengan menggunakan konsentrasi asam dan basa yang tinggi sebagai **fixed charge**. Permeabilitas yang tinggi dari lapisan yang permeabel terhadap anion dan kation sangat dibutuhkan untuk menghindari penurunan kemurnian asam dan basa yang dihasilkan. Perpindahan **co-ion** (ion yang memiliki muatan sama dengan **fixed charged**) melalui membran bipolar menyebabkan terkontaminasinya asam dan basa oleh garam sehingga mengakibatkan penurunan kualitas produk. Seperti terlihat pada gambar 3, kompartemen yang berdekatan dengan lapisan permeabel kation dari membran bipolar akan menghasilkan larutan asam. Sedangkan pada kompartemen yang berdekatan dengan lapisan permeabel anion akan menghasilkan larutan basa. Oleh karena

itu, jelas bahwa membran bipolar harus mempunyai ketahanan kimia yang tinggi pada kedua lapisannya.

Aplikasi Membran Bipolar

Pengembangan unit elektrodialisis berbasis membran bipolar telah diterapkan dalam berbagai skala, baik laboratorium maupun industri. Dalam skala laboratorium penelitian tentang membran bipolar diarahkan untuk memproduksi maupun mengaplikasikan membran bipolar. Sedangkan dalam skala industri telah berhasil dipasarkan unit elektrodialisis yang berisi kombinasi antara membran bipolar dan membran monopolar untuk memenuhi kebutuhan industri dalam upaya memproduksi asam dan basa dari garamnya. Dalam aplikasinya membran bipolar dikombinasikan dengan membran monopolar (membran penukar kation atau membran penukar anion) banyak digunakan untuk memproduksi asam dan basa dari garamnya.

Proses ini digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4. Produksi asam dan basa dengan kombinasi membran bipolar dan membran monopolar

Gambar 4 di atas menunjukkan suatu sel elektrodialisis yang berisi membran bipolar dan kombinasi membran monopolar (membran penukar anion, aem; dan membran penukar kation, cem) yang disusun dengan urutan tertentu. Jika suatu larutan garam diumpankan ke dalam kompartemen di antara membran penukar anion dan membran penukar kation, kation yang terdapat dalam larutan garam umpan akan bergerak menuju ke katoda menembus membran penukar kation, dan membentuk suatu basa dengan ion OH^- yang dihasilkan oleh adanya disosiasi air dalam membran bipolar. Pada sisi lain dari membran bipolar, yang menghadap ke katoda, ion H^+ yang juga dihasilkan oleh adanya disosiasi air dalam membran bipolar akan membentuk asam dengan anion yang berasal dari larutan garam.

Membran bipolar mendapat perhatian yang sangat serius akhir – akhir ini karena kemampuannya untuk mendisosiasi air memberikan alternatif untuk memproduksi asam dan basa dengan efisiensi energi yang cukup tinggi. Secara teoritis, perbedaan potensial melewati bipolar membran dengan permselektivitas 100 % untuk memproduksi 1 M larutan asam dan basa pada suhu 25°C adalah sebesar 0,83 Volt. Jika dibandingkan dengan proses elektrolisis untuk memproduksi asam dan basa, di mana pada elektrolisis juga terjadi peristiwa disosiasi air, elektrodialisis dengan menggunakan membran bipolar memiliki keunggulan, yaitu (Kroll, 1997) :

1. Sel elektrodialisis dengan membran bipolar lebih sederhana, di mana dalam satu sel elektrodialisis dengan dua elektroda (katoda dan anoda) dapat diisi dengan banyak membran penukar ion. Sedangkan pada sel elektrolisis, setiap unit sel membutuhkan satu set elektroda (anoda dan katoda) yang berbeda sehingga membutuhkan biaya yang lebih tinggi.
2. Sel elektrolisis terbukti membutuhkan energi yang lebih tinggi dibandingkan elektrodialisis dengan membran bipolar akibat adanya produksi gas oksigen dan hidrogen pada kedua elektroda. Untuk memproduksi 1 M asam dan basa, secara teoritis proses elektrolisis

membutuhkan voltase listrik sekitar 2,1-2,2 volt pada suhu operasi 25°C.

Produksi asam dan basa dengan menggunakan membran bipolar memberikan alternatif aplikasi yang sangat menjanjikan. Pada proses produksi dalam industri kimia umumnya dihasilkan larutan garam yang merupakan buangan dari proses produksi. Buangan ini selain merugikan dari segi biaya juga memberikan dampak yang sangat serius bagi lingkungan. Dengan bipolar membran larutan garam ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan asam dan basa.

Pada skala industri (Ameridia, 1999) Tokuyama Corporation, pemegang saham utama dari Eurodia, telah mengembangkan suatu membran bipolar yang diberi nama *Neosepta* (BP-1) yang terbukti telah berhasil diaplikasikan secara komersial. Perusahaan ini juga telah mengembangkan sel elektrodialisis dengan 3 maupun 2 kompartemen. Unit elektrodialisis dengan 3 kompartemen didapatkan dengan menambahkan membran bipolar di antara membran penukar anion dan membran penukar kation. Sehingga unit tersebut akan memproduksi asam yang berasal dari kompartemen di antara membran bipolar dan membran penukar anion, basa yang diproduksi oleh kompartemen di antara membran bipolar dan membran penukar kation, serta garam yang diproduksi oleh kompartemen di antara membran penukar anion dan kation. Unit elektrodialisis dengan 2 kompartemen ada 2 jenis, yaitu : sel yang berisi membran bipolar dan membran penukar anion serta sel yang berisi membran bipolar dan membran penukar kation. Unit elektrodialisis dengan kombinasi membran bipolar dan membran penukar kation umumnya digunakan untuk mengubah garam yang berasal dari asam lemah dan basa kuat menjadi asam dan basanya, seperti sodium asetat, format, glycinate, dsb. Sedangkan unit elektrodialisis dengan kombinasi membran bipolar dan membran penukar anion umumnya digunakan untuk mengubah garam yang berasal dari basa lemah (seperti : amonia) dan asam kuat menjadi asam dan basanya, seperti amonium khlorida, amonium sulfat, dan amonium lactat.

Secara umum efisiensi proses unit elektrodialisis dengan membran bipolar akan meningkat, jika (Ameridia, 1999):

1. larutan umpan diharapkan memiliki konduktivitas listrik $> 35 \text{ mS/cm}$
2. larutan umpan mengandung logam bervalensi lebih dari 1 kurang dari 2 ppm
3. larutan umpan tidak boleh mengandung senyawa organik berberat molekul besar (berat molekul > 500)
4. Produk asam maksimum yang dapat dicapai adalah 1-2 N untuk umpan asam kuat, dan untuk umpan asam lemah konsentrasi produk asam dapat mencapai 5 N
5. Produk basa maksimum yang dapat dicapai berkisar antara 2 N hingga 5 N (mencapai konsentrasi 12 % berat NaOH)
6. Temperatur operasi maksimum 40°C
7. Selama operasi tidak terdapat oksidator dan pelarut organik.

KESIMPULAN

Membran bipolar merupakan pengembangan teknologi membran penukar ion yang dipergunakan untuk memproduksi asam dan basa dari garamnya. Teknologi ini memberikan beberapa alternatif keunggulan dibandingkan proses elektrodialisis, di antaranya memberikan densitas arus yang lebih besar serta konsentrasi asam dan basa yang dihasilkan lebih besar. Proses produksi asam dan basa dengan menggunakan kombinasi membran bipolar dan membran monopolar telah diteliti dalam skala laboratorium dan telah berhasil diaplikasikan dalam skala industri. Dalam skala industri konsentrasi asam dapat mencapai 5 N serta konsentrasi basa dapat mencapai 5 N.

Daftar Notasi

μ	= potensial kimia
R	= konstanta gas ideal
T	= temperatur

m	= molaritas
γ	= koefisien aktivitas
z	= valensi ion
F	= konstanta Faraday
ψ	= faktor kristalisasi polimer
a	= aktivitas
E	= potensial eksklusi Donnan
Q^{don}	= laju alir umpan
c	= beda konsentrasi antara larutan umpan dengan diluat
ξ	= efisiensi arus

DAFTAR PUSTAKA

- Rautenbach, R. 1989. *Membrane Processess*, John Wiley & Sons Ltd., U.K. Kroll, J.J. 1997. *Monopolar and Bipolar Ion Exchange Membranes*, PhD Thesis, Universiteit Twente.
- Ameridia, Inc, 1999. *Production of Organic or Amino Acid by Bipolar Membrane Electrodialysis*. Diambil dari internet di alamat <http://www.ameridia.com/html/ebc.html>
- Ameridia, Inc. 1999. *The Bipolar Membrane*. Diambil dari internet di alamat <http://ameridia.com/html/ebp.html>